

Aus dem Pathologischen Institut
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. V. Becker

Mineralgehalt der Muskulatur des Menschen:
Magnesium-, Calcium- und
Zinkkonzentrationen in Skelettmuskulatur,
glatter Muskulatur und Herzmuskulatur

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Falko Demmler
aus Chemnitz

Erlangen 1979

1980

Aus dem Pathologischen Institut
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. V. Becker

Mineralgehalt der Muskulatur des Menschen:
Magnesium-, Calcium- und
Zinkkonzentrationen in Skelettmuskulatur,
glatter Muskulatur und Herzmuskulatur

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Falko Demmler
aus Chemnitz

Erlangen 1979

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



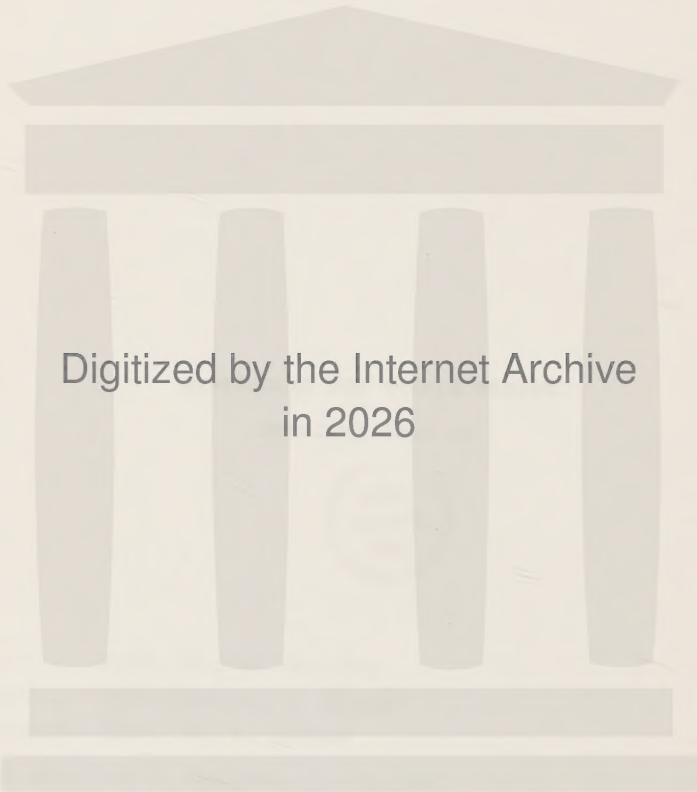
Dekan: Prof. Dr. W. Kersten

Referent: Priv.-Doz.Dr. G. Brandt

Korreferent: Prof. Dr. V. Becker

Tag der mündlichen Prüfung: 22.12.1980

Meinen Eltern und Großeltern
in Dank gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546209_0059

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A) Einleitung	1
B) Material und Methoden	
I) Material	3
II) Methoden	5
C) Ergebnisse	
I) Magnesium	
1) Skelettmuskulatur	11
2) Glatte Muskulatur	14
3) Herzmuskulatur	
a) Vorhof	16
b) Kammer	16
II) Calcium	
1) Skelettmuskulatur	17
2) Glatte Muskulatur	20
3) Herzmuskulatur	
a) Vorhof	22
b) Kammer	22
III) Zink	
1) Skelettmuskulatur	24
2) Glatte Muskulatur	27
3) Herzmuskulatur	
a) Vorhof	29
b) Kammer	29
IV) Gesamtmittelwerte	30
D) Diskussion	
I) Allgemeines über die Struktur der verschiedenen Muskeltypen	31

	Seite
II) Probleme der Probennahme post mortem	34
III) Magnesium	
1) Skelettmuskulatur	35
2) Glatte Muskulatur	38
3) Herzmuskulatur	39
IV) Calcium	
1) Skelettmuskulatur	41
2) Glatte Muskulatur	43
3) Herzmuskulatur	43
V) Zink	45
1) Skelettmuskulatur	46
2) Glatte Muskulatur	47
3) Herzmuskulatur	48
E) Zusammenfassung	49
Literaturhinweise	52

A) Einleitung

Anatomie, Histologie und Elektronenmikroskopie erfassen die normalen und pathologischen Strukturen der menschlichen Organe und Gewebe. Krankheiten, die biochemisch definiert sind, können mit rein morphologischen Methoden nicht erfaßt werden, wie das am Beispiel der Molekularpathologie (RATZEN-HOFER 1975) dargestellt wurde.

Methoden der analytischen Chemie bilden einen Ansatzpunkt für den Pathologen, dem Problembereich der Molekularpathologie näher zu kommen. Durch Einführung der Spektralanalyse in die pathologisch-anatomische Diagnostik (GERLACH und RUTHARTH 1933, GERLACH 1935) wurden quantitative Mineralbestimmungen an Leichenorganen möglich. Die systematische Elektrolyt- und Spurenelementuntersuchung führte zum Konzept einer quantitativen Mineralpathologie (BRANDT 1975).

Wir stellten uns zur Aufgabe, die " Muskulatur " mineralanalytisch zu untersuchen. In vielen Veröffentlichungen, wie z.B. " Zur topochemischen Elektrolytverteilung im Myokard bei Pneumonien " (KÜHN und CONRADI 1971) spricht man bei einer Probe aus einer Muskelgruppe von dem Skelettmuskel.

Aber ist die Skelettmuskulatur ein mineralanalytisch homogenes Organ (FLEAR und FLORENCE 1964) ? Gibt es Unterschiede im Mineralgehalt der glatten Muskulatur unterschiedlicher Lokalisationen ? Bei der Herzmuskulatur sind ty-

pische Gewebstensionogramme in Abhängigkeit von
Struktur und Funktion bekannt (JANSSEN und
STAPENBECK 1962, MEISTER 1967, u.a.).

B) Material und Methoden

I) Material

Gewebsproben aus verschiedenen Lokalisationen der Skelettmuskulatur, der glatten Muskulatur des Magen-Darmtraktes, sowie der Muskulatur des Herzens wurden analysiert.

Bei der Skelettmuskulatur wurde auf sehnens- und fettfreie Stücke geachtet. Die Proben aus dem Magen-Darmtrakt wurden vorsichtig von der Tunica mucosa befreit.

Die Organproben wurden bei Obduktionen aus folgenden Teilen der Muskulatur entnommen:

Skelettmuskulatur

Musculus sternocleidomastoideus - Claviculana-
her Teil des linken und rechten
Muskels.

Musculus pectoralis major - Pars sternoco-
stalis des linken und rechten Mus-
kels.

Musculus deltoideus - Acromionnaher Teil des
linken und rechten Muskels.

Musculus rectus abdominis - Umbilicaler Teil
des linken und rechten Muskels.

Musculus psoas - Promontoriumnaher Teil des
linken und rechten Muskels.

Musculus quadriceps femoris - linker und rech-
ter Teil des M.vastus lateralis.

Musculus triceps surae - Caput mediale des
linken und rechten M.gastrocnemius.

Glatte Muskulatur

Oesophagus - Teil des Pars abdominalis.
Ventriculus - Teil des Fundus ventriculi.
Duodenum - Teil des Pars superior.
Jejunum - Teil der Flexura duodenojejunalis.
Ileum - Teil des Pars terminalis.
Colon transversum - Teil aus einer Taenie
nahe der Flexura coli dextra.

Herzmuskulatur

Atrium dextrum - Teil der Mm. pectinati.
Atrium sinistrum - Teil nahe dem Einstrom-
bereich der V. pulmonalis inf..
Septum interatriale - Teil oberhalb des mitt-
leren Bereichs der Mitralklappe.
Ventriculus dexter - Teil nahe dem M. papil-
laris post..
Ventriculus sinister - Teil nahe dem M. pa-
pillaris post..
Septum interventriculare - Teil des mittleren
Pars muscularis (aus dem linken Ven-
trikel).

Auf die Entnahme aus einem konstanten Ort
wurde sorgfältig geachtet, um Fehler durch
unterschiedliche Verteilung der Elektrolyte
innerhalb eines Muskels soweit wie möglich
auszuschließen.

Zwanzig männliche Personen im Alter zwischen
35 und 68 Jahren, die im Verlaufe des Kli-
nikaufenthaltes unter den Bedingungen der
modernen Intensivmedizin verstorben waren,
wurden in die Auswertung einbezogen. Diese

Diese Selektion entspricht den heute im Obduktionsgut vorkommenden Fällen - ein " Normalkollektiv " ist unter solchen Therapiebedingungen nicht zu erhalten. Andererseits würden aber auch " gesunde " Verkehrstote oder Suicidenten eine willkürliche Selektion bedeuten.

II) Methoden

Nachfolgend werden die einzelnen Abschnitte des Aufarbeitungs- und Analysenverfahrens näher dargestellt, das von BRANDT (1975) in Anlehnung an LOSSNITZER (1973), angewandt wurde.

Die Probenentnahme wurde aus den oben erwähnten, definierten 26 Entnahmestellen, mit Hilfe von mehrfach in Aqua bidest. gespülten Instrumenten vorgenommen. Das Gewicht der Gewebeproben lag zwischen 150 - 250 mg.

Unmittelbar danach wurde das Organmaterial in eine feuchte Kammer gegeben. Wir vermieden dadurch größere Wasserverluste beim Transport, denn Gewebestücke von 150 - 250 mg weisen etwa 5% Gewichtsverlust bei einer fünfminütigen Lagerung in Raumtemperatur auf (BRANDT 1975).

Nach der Probennahme wurde die Bestimmung des Frischgewichts, der sich in gereinigten Kunststoffschalen befindlichen Proben, auf einer Satorius-Semi-Mikrowaage durch Differenzwägung, durchgeführt.

Der frei abdampfbare Wassergehalt wurde aus der Differenz von Frisch- und Trockengewicht

berechnet. Die Gewebsstücke wurden hierzu im Vakuumtrockenschrank bei $90 - 100^{\circ} \text{C}$ und einem Druck von 200 Torr bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Das getrocknete Gewebsmaterial wurde nach Gewichtsbestimmung auf einem Sandbad mit 150°C in offenen Teflonbechern feucht verascht. Es wurden hierzu jeweils 2,0 ml rauchende Salpetersäure und 0,5 ml Perchlorsäure (konzentriert) zugegeben, bis sich ein gelbbrauner Rückstand in den Bechern gebildet hatte. Dabei wurde auf vollständiges Abrauchen der Säure geachtet, um chemische Interferenzen bei der Messung auszuschalten.

Das von organischen Bestandteilen getrennte Material wurde mit 0,5 %iger Lanthanchloridlösung auf 10,0 g Flüssigkeit aufgefüllt. Die so gewonnenen Meßlösungen wurden gegen Standardlösungen (Merck Titrisol), welche im Verdünnungsverfahren hergestellt und auf ihre Linearität im Kurvenverlauf durchgemessen wurden, vermessen (Abb. 1). Es wurden hierbei saubere, trockene Einmal-Kunststoffgläser verwendet. Die gewichtsbezogene Verdünnung wurde der volumenbezogenen vorgezogen, um Meßfehler durch Verunreinigungen in gereinigten Glaskolben dieser Größe zu vermeiden, welche den geringen Fehler der verwendeten Methode überwiegen (BRANDT 1975).

Die drei Elemente Magnesium, Calcium und Zink wurden am Atom-Absorptions-Spektralphotometer Beckmann 495 gemessen.

Die Atomabsorption wurde im Prinzip durch WALSH (1955) und ALKEMADE und MILATZ (1955) unab-

hängig voneinander zum ersten Mal für die chemische Analytik benutzt.

Gegenüber der Emissions-Flammen-Spektroskopie (EFS) ist die Nachweisempfindlichkeit wesentlich verbessert. Bei der EFS werden die anwesenden Elemente durch eine Brenngas-Luft-Flamme in den atomaren Zustand versetzt. Hierbei befinden sich die Atome in verschiedenen Zuständen gleichzeitig nebeneinander. Durch Aufnahme thermischer Energie werden die Atome angeregt, indem Elektronen auf die nächsthöhere Schale gehoben werden. Fallen diese nach kurzer Zeit wieder zurück, so wird Energie in Form von Lichtquanten abgegeben. Dieses Licht hat eine bestimmte Wellenlänge und seine Intensität kann gemessen werden.

Die Absorptions-Flammen-Spektroskopie beruht auf der Absorption von Strahlungsenergie bei bestimmten Wellenlängen. Diese Wellenlängen entsprechen den Übergängen aus dem Grundzustand, wobei Resonanzlinien entstehen. Das zu absorbierende Licht stammt aus einer Hohlkathodenlampe, die das zu analysierende Element als Kathode enthält. Sie sendet somit das charakteristische Atomlinienspektrum dieses Elements aus. Dieses Licht wird durch die Flamme geführt. Es erfährt durch die Absorption, der im Grundzustand vorliegenden Atome des zu analysierenden Elements, einen Energieverlust, welchen man im Anzeigesystem ablesen kann. (FE-
DER 1970).

Messungen an einem 10 g schweren Muskelstück aus dem linken Herzventrikel, das nach Trocknung pulverisiert wurde und in zehn gleichen Proben vermessen wurde, wies einen Fehler von

unter 5 % für Calcium und Zink und unter 1 % für Magnesium auf. Dieses Verfahren ist also geeignet, um aus kleinen Proben verlässliche Werte zu erhalten (BRANDT 1975).

Alle Messungen wurden mit Monoelement-Hohlkathodenlampen durchgeführt (Tab. 1). Die Messungen wurden mit Hilfe der Eichkurven ausgewertet. Originalaufzeichnungen für Magnesium, Calcium und Zink sind in Abb. 2 dargestellt. Unter Benutzung eines Computers (WANG 2200 P) wurden die jeweiligen Elementkonzentrationen im Probengewebe nach folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{Konz.St}}{\text{Ext.St}} \cdot \frac{\text{Ext. P.}}{\text{Gew. mg}} \cdot \frac{\text{Lösungsv.P.}}{\text{Ä-val.d.El.}} \cdot 10^6 = \text{mval/kg}$$

	Magnesium	Calcium	Zink
Wellenlänge	285,2	422,7	213,0
Spreizung	5	5	keine
Lampenstromstärke (mA)	20	10	20
Spaltbreite	9	11	11
Brennerhöhe	0,8	0,8	1,0
Gasgemisch (Luft/Acetylen)	25/5	25/5	25/5
Gewebskonz. d. Meßlösung	0,1/100ml	2g/100ml	2g/100ml

Tab. 1 : Einstellwerte und Richtgrößen für das Atom-Absorptions-Photometer und die zu messenden Elektrolyte.

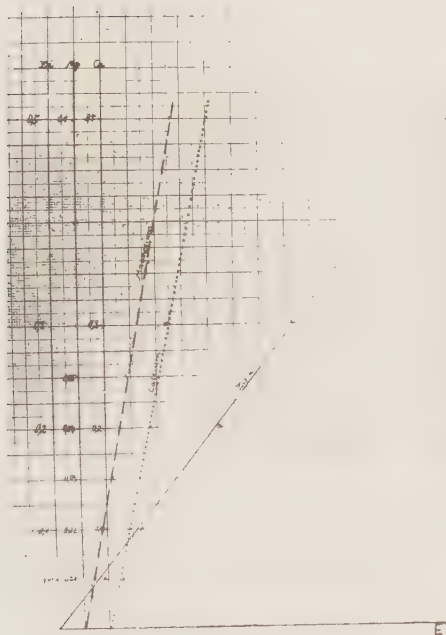


Abb. 1 : Eichkurven für Magnesium
(- - -), Calcium (...) und
Zink (—).

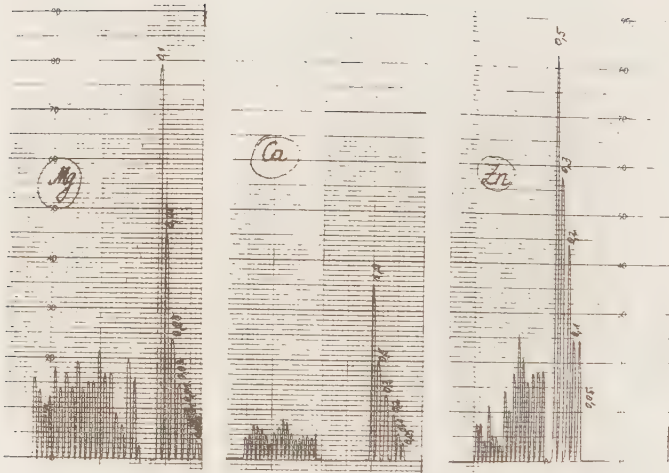


Abb. 2 : Schreiberprotokolle (BECKMANN-Schreiber) für Magnesium, Calcium und Zink.

C) Ergebnisse

I) Magnesium

1) Skelettmuskulatur

Die Ionogramme der Skelettmuskulatur sind im Seitenvergleich rechts gegen links dargestellt (Abb. 3). Im Mittel zeigten sich hierbei im Bereich der Rumpfmuskulatur mit $44,4 \pm 9,2$ mmol/kg Trockengewebe beim m. sternocleidomastoideus und $34,6 \pm 10,5$ mmol/kg Trockengewebe beim m. rectus abdominis links, auf den ersten Blick größere Unterschiede (Tab. 2).

Mg	m. sternocl. re	li	m. pectoral. re	li	m. delt. re	li	m. rect. abd. re	li	m. psoas re	li	m. quadric. re	li	m. triceps re	li
m. sternocl. re	0,7060	0,1118	0,0535	0,0546	0,1453	0,3122	0,3197	0,6296	0,1313	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508
m. pectoral. re	0,1118	0,3907	0,0535	0,0546	0,1453	0,3122	0,3197	0,6296	0,1313	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508
m. delt. re	0,3122	0,3197	0,6296	0,1313	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847
m. rect. abd. re	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770	0,1889	0,0984	-0,0132	0,3244	0,0959
m. psoas re	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770
m. quadric. re	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770	0,1889	0,0984	-0,0132	0,3244	0,0959
m. triceps re	0,0959	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770	0,1889	0,0984	-0,0132	0,3244	0,0959
m. sternocl. li	0,1118	0,3907	0,0535	0,0546	0,1453	0,3122	0,3197	0,6296	0,1313	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508
m. pectoral. li	0,0535	0,0546	0,1453	0,3122	0,3197	0,6296	0,1313	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508	0,0846	0,0132
m. delt. li	0,3122	0,3197	0,6296	0,1313	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847
m. rect. abd. li	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770	0,1889	0,0984	-0,0132	0,3244	0,0959
m. psoas li	0,1696	0,3884	0,5861	0,1694	0,2508	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770
m. quadric. li	0,0846	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770	0,1889	0,0984	-0,0132	0,3244	0,0959
m. triceps li	0,0959	0,0132	0,4352	0,3684	0,2847	0,4674	0,2944	0,4750	0,3770	0,1889	0,0984	-0,0132	0,3244	0,0959

•• Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha \leq 1\%$; • Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha \leq 5\%$.

Tab. 3 : Korrelation der Elementkonzentration von Magnesium im Trockengewebe der Skelettmuskulatur.

	m.sterno- cleidom.	m.deltoid- deus	m.pecto- ral.maj.	m.rectus abdom.	m.psoas	m.quadri- ceps fem.	m.triceps sur.
re Tro- cken li	41,5 s=11,6	41,3 s=11,7	43,9 s=14,1	35,5 s=10,8	38,3 s=10,4	41,0 s=9,1	38,0 s=9,2
	44,4 s=9,2	42,4 s=11,1	43,0 s=9,3	34,6 s=10,5	38,4 s=12,5	34,2 s=12,6	33,5 s=9,3
re H ₂ O li	768,9 s=43,7	755,8 s=18,4	770,4 s=21,6	749,4 s=25,8	753,0 s=36,4	749,5 s=48,2	739,5 s=43,5
	779,4 s=21,4	751,3 s=31,1	767,9 s=32,0	743,0 s=36,2	735,3 s=118,0	736,5 s=33,8	761,5 s=31,5

Tab. 2 : Magnesiumkonzentrationen der Skelettmuskulatur (Mittelwerte) in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

Betrachtet man die Korrelation (Tab. 3), so fällt auf, daß die mm. sternocleidomastoidei mit keinem anderen Skelettmuskel korrelieren. Die mm.quadriceps fem. korrelieren mit fünf anderen Lokalisationen innerhalb der Skelettmuskulatur.

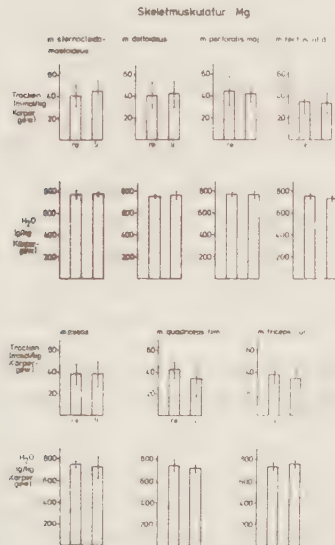


Abb. 3 : Ionogramme der Skelettmuskulatur für Magnesium (Mittelwerte). Magnesiumkonzentration in mmol/kg Trockengewebe; Wasser in g/kg Körpergewicht.

Die Mittelwerte des rechten m.quadriceps fem. mit 40,9 mmol/kg Trockengewebe und des rechten m.triceps sur. mit 38,0 mmol/kg Trockengewebe sind jeweils höher, als die Mittelwerte des entsprechenden linken Muskels.

2) Glatte Muskulatur

Oeso- phagus	Magen	Duo- denum	Jeju- num	Ileum	Quer- colon	
26,8 s=6,3	25,7 s=6,7	26,8 s=6,6	24,4 s=6,1	23,2 s=7,6	26,3 s=8,2	Tro- cken
811,7 s=40,7	806,9 s=71,4	833,7 s=33,7	826,6 s=35,8	802,6 s=40,8	811,5 s=60,8	H ₂ O

Tab. 4 : Magnesiumkonzentrationen in der glatten Muskulatur in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

Hier zeigt sich bei Oesophagus, Magen, Duodenum und Quercolon eine fast gleichmäßige Verteilung (Tab. 4). Die Mittelwerte des Jejunums sind mit $24,4 \pm 6,1$ mmol/kg Trockengewebe etwas erniedrigt (Abb. 4).

Den im Mittel höchsten Magnesiumgehalt fanden wir in der Muskulatur des Oesophagus und des Duodenums mit jeweils 26,8 mmol/kg Trockengewebe. Die größten Schwankungen der Einzelwerte traten im Quercolon mit $26,3 \pm 8,2$ mmol/kg Trockengewebe auf.

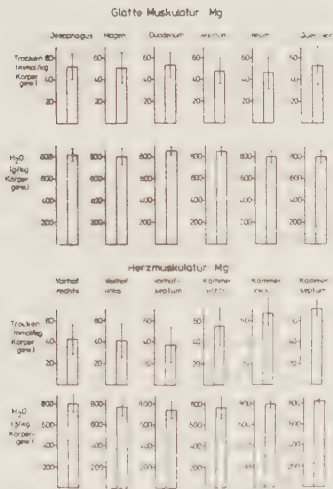


Abb. 4 : Tonogramme der glatten Muskulatur und der Herzmuskulatur für Magnesium.

3) Herzmuskulatur

a) Vorhof

Der Magnesiumgehalt unserer Proben zeigte bei der Muskulatur der Vorhöfe geringe Unterschiede in den Mittelwerten (Tab. 5). Sie fielen vom rechten Vorhof zum Vorhofseptum ab, wobei individuelle Unterschiede auftraten.

Vorhof re	Vorhof li	Vorhof sept.	Kammer re	Kammer li	Kammer sept.	
21,3 s=7,4	20,8 s=8,6	19,0 s=7,9	27,2 s=9,1	32,3 s=6,6	35,1 s=3,4	Trocken
793,0 s=75,0	757,6 s=70,9	724,2 s=84,5	739,6 s=108,0	790,5 s=25,1	801,1 s=11,7	H ₂ O

Tab. 5 : Magnesiumkonzentrationen in der Herzmuskulatur in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

b) Kammer

Die Mittelwerte von Kammerseptum, rechter und linker Kammer waren höher, als die Mittelwerte der Vorhöfe (Abb. 4). Es zeigte sich ein Anstieg von der rechten Kammer bis zum Kammerseptum in den Mittelwerten der Konzentrationen (Tab. 5). Die Werte des rechten Ventrikels zeigten die höchste, die des Ventrikelseptums die niedrigste Standardabweichung.

II) Calcium

1) Skelettmuskulatur

Die Mittelwerte der Calciumkonzentrationen unserer Proben waren im linken Teil der Rumpfmuskulatur höher als im rechten (Abb. 5). Den niedrigsten Mittelwert fanden wir beim m. rectus abdom. rechts mit 3,9 mmol/kg Trockengewebe, den höchsten Mittelwert der Skelettmuskulatur beim m. rectus abdom. links mit 7,7 mmol/kg Trockengewebe (Tab. 7). Es war ein leichter Anstieg der Mittelwerte von den mm. sternocleidomastoidei zu denen der mm. deltoidei zu beobachten.

Ca	m. sternocl		m. pectoral		m. delt.		m. rect abd		m. psoas		m. quadric.		m. triceps	
	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li
m. sternocl			..		..				..	..			..	..
re	0,3380													
li	0,9423	0,0580			..				..	..				..
m. pectoral														
re	0,0783	0,0598	0,1352		..	..								
li	0,5886	0,6328	0,3994	0,2198										
m. delt.														
re	0,1432	0,0569	0,1293	0,9224	0,0246									
li	0,0839	0,0367	0,0272	0,0855	0,2249	0,9478								
m. rect abd														
re	0,1147	0,2400	0,3657	0,2459	0,5655	0,1001	0,1941							
li	0,0450	0,4495	0,2401	0,2228	0,4584	0,1508	0,2413	0,4582						
m. psoas														
re	0,5595	0,0554	0,0115	0,3743	0,2854	0,9291	0,9745	0,1200	0,4217					
li	0,7417	0,9375	0,2879	0,2273	0,5729	0,0305	0,1455	0,3812	0,3799	0,5350				
m. quadric.														
re	0,0667	0,5015	0,2512	0,0313	0,6605	0,0571	0,0312	0,5900	0,5872	0,0630	0,2611			
li	0,4765	0,3405	0,3526	0,0485	0,4214	0,0857	0,0366	0,2606	0,2436	0,0055	0,3955	0,0703		
m. triceps														
re	0,3150	0,1729	0,7505	0,1808	0,0904	0,0347	0,1765	0,1107	0,3975	0,4572	0,4693	0,0961	0,4178	

.. Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 1\%$

.. Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 5\%$

Tab. 6 : Korrelation der Elementkonzentration von Calcium im Trockengewebe der Skelettmuskulatur.

	m.sterno- cleidom.	m.deltoid- deus	m.pecto- ral.maj.	m.rectus abdom.	m.psoas	m.quadri- ceps fem.	m.triceps sur.
re Tro- cken li	4,5 s=2,1	4,6 s=2,0	5,5 s=3,8	3,9 s=1,2	5,9 s=3,5	4,8 s=3,4	5,1 s=3,2
	5,7 s=1,9	5,9 s=3,6	6,8 s=4,6	7,7 s=4,0	6,6 s=4,3	4,8 s=2,1	4,8 s=1,7
re H ₂ O li	768,9 s=43,7	755,8 s=18,4	770,4 s=21,6	749,4 s=25,8	753,0 s=36,4	749,5 s=48,2	739,5 s=43,5
	779,4 s=21,4	751,3 s=31,1	767,9 s=32,0	743,0 s=36,2	735,3 s=118,0	736,5 s=33,8	761,5 s=31,5

Tab. 7 : Calciumkonzentrationen der Skelettmuskulatur (Mittelwerte) in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

Die größte Standardabweichung wiesen die Proben des linken m.deltoides mit $6,8 \pm 4,6$ mmol/kg Trockengewebe auf. Die Mittelwerte der mm.quadriceps fem. und des m.triceps sur. links erschienen annähernd gleich, wobei jeweils die rechten Proben größere Schwankungen aufwiesen.

Der m.quadriceps fem. korrelierte in acht Fällen mit anderen Muskelgruppen, dabei einmal beidseits (Tab. 6).

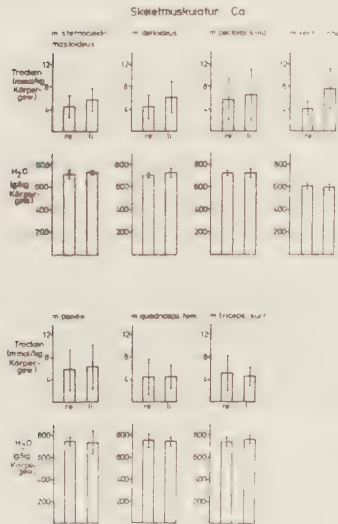


Abb. 5 : Ionogramme der Skelettmuskulatur für Calcium.

2) Glatte Muskulatur

Oeso- phagus	Magen	Duo- denum	Jeju- num	Ileum	Quer- colon	
13,0 s=3,7	12,8 s=4,3	15,1 s=5,8	11,4 s=3,8	12,1 s=7,0	11,6 s=7,1	Tro- cken
811,7 s=40,7	806,9 s=71,4	833,7 s=33,7	826,6 s=35,8	802,6 s=40,8	811,5 s=60,8	H ₂ O

Tab. 8 : Calciumkonzentrationen in der glatten Muskulatur in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

Die Ionogramme der glatten Muskulatur des Darmes zeigen für die Mittelwerte der Proben aus Oesophagus und Magen annähernd gleiche Werte (Abb. 6). Den höchsten Calciumgehalt hatten die Proben aus der Muskulatur des Duodenums mit $15,1 \pm 5,8$ mmol/kg Trockengewebe. Den niedrigsten Gehalt an Calcium wiesen, die im Mittel annähernd gleichen Proben aus der Muskulatur des Jejunums und des Quercolons auf (Tab. 8). Im Quercolon traten mit $11,6 \pm 7,1$ mmol/kg Trockengewebe die größten individuellen Schwankungen auf.

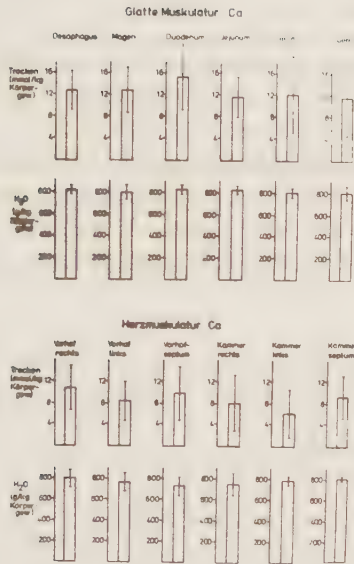


Abb. 6 : Ionogramme der glatten Muskulatur und der Herzmuskulatur für Calcium. Calciumkonzentration in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

3) Herzmuskulatur

a) Vorhof

Wir fanden in den Vorhöfen im Mittel höhere Calciumwerte, als in den Herzkammern (Abb. 6). Den höchsten Calciumgehalt hatte im Mittel mit $13,3 \pm 5,1$ mmol/kg Trockengewebe das Vorhofseptum, den niedrigsten mit $8,6 \pm 3,4$ mmol/kg Trockengewebe der linke Vorhof (Tab. 9). Im Vorhofseptum traten die größten Schwankungen auf.

Vorhof re	Vorhof li	Vorhof sept.	Kammer re	Kammer li	Kammer sept.	
10,9 s=4,5	8,6 s=3,4	13,3 s=5,1	8,1 s=5,2	6,2 s=4,2	9,0 s=3,9	Trocken
793,0 s=75,0	757,6 s=70,9	724,2 s=84,5	739,6 s=108,0	790,5 s=25,1	801,1 s=11,7	H ₂ O

Tab. 9 : Calciumkonzentrationen in der Herzmuskulatur in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

b) Kammer

Die Kammern bieten im Ionogramm ein ähnliches Bild als die Vorhöfe, jedoch mit niedrigeren Werten (Abb. 6). Den höchsten Calciumgehalt mit $9,0 \pm 3,9$ mmol/kg Trockengewebe fanden wir

auch hier im Septum, den niedrigsten mit $6,2 \pm 4,2$ mmol/kg Trockengewebe in der linken Kammer. Die größte Standardabweichung wies die rechte Kammer mit $8,1 \pm 5,2$ mmol/kg Trockengewebe auf.

III) Zink

1) Skelettmuskulatur

Die Zinkverteilung in der Skelettmuskulatur zeigt leichte Unterschiede zwischen den einzelnen Lokalisationen in der Rumpfmuskulatur (Abb. 7). Die Mittelwerte der rechten und linken mm.deltoidei und recti abdom. sind gleich. Geringfügige Differenzen bestehen zwischen den rechten und linken Mittelwerten der mm.sternocleidomastoidei, pectorales maj. und psoas (Tab. 10).

Zn	m. sternocl.		m. pectoral.		m. delt.		m. rect. abd.		m. psoas		m. quadric.		m. triceps	
	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li
m. sternocl.														
II	0,5663				0,5663	0,5663	0,5663	0,5663	0,5663	0,5663	0,5663	0,5663	0,5663	0,5663
m. pectoral.	0,6632	0,7386			0,6632	0,7386	0,6632	0,7386	0,6632	0,7386	0,6632	0,7386	0,6632	0,7386
II	0,3556	0,3636	0,5382		0,3556	0,3636	0,5382		0,3556	0,3636	0,5382		0,3556	0,3636
m. delt.	0,5738	0,8575	0,8040	0,4676										
II	0,1342	0,5673	0,4106	0,6956	0,5262									
m. rect. abd.	0,3619	0,7375	0,6401	0,3996	0,7544	0,5484								
II	0,3853	0,6230	0,8196	0,6250	0,3445	0,6324	0,6784							
m. psoas	0,4304	0,4564	0,6216	0,5698	0,5916	0,2746	0,5271	0,5171						
II	0,3836	0,4603	0,5897	0,5804	0,5438	0,4705	0,6112	0,5625	0,5763					
m. quadric.	0,3552	0,5058	0,4548	0,7454	0,7436	0,6508	0,6250	0,7589	0,6260	0,6286				
II	0,3498	0,7192	0,6666	0,3798	0,6405	0,5193	0,8074	0,2044	0,6107	0,5999	0,5233			
m. triceps	0,6217	0,3688	0,6869	0,4700	0,4208	0,1666	0,4024	0,3656	0,4907	0,5662	0,4362	0,5650		
II	0,2938	0,3580	0,3316	0,1343	0,4544	0,3154	0,5154	0,1934	0,4462	0,4613	0,0708	0,5473	0,3453	

••• Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 5\%$

Tab. 11 : Korrelation der Elementkonzentration von Zink im Trockengewebe der Skelettmuskulatur.

re Tro- cken li	m.sterno- cleidom.	m.deltoid- deus	m.pecto- ral.maj.	m.rectus abdom.	m.psoas	m.quadri- ceps fem.	m.triceps sur.
	2,9 s=1,3	3,0 s=0,9	2,7 s=0,8	2,7 s=0,9	2,5 s=0,7	2,5 s=1,1	2,7 s=1,0
re H ₂ O li	2,8 s=0,8	3,0 s=0,9	2,8 s=0,7	2,7 s=0,8	2,6 s=0,8	2,1 s=0,8	2,3 s=0,7
	768,9 s=43,7	755,8 s=18,4	770,4 s=21,6	749,4 s=25,8	753,0 s=36,4	749,5 s=48,2	739,5 s=43,5
H ₂ O li	779,4 s=21,4	751,3 s=31,1	767,9 s=32,0	743,0 s=36,2	735,3 s=118,0	736,5 s=33,8	761,5 s=31,5

Tab. 10 : Zinkkonzentrationen der Skelettmuskulatur (Mittelwerte) in mmol/kg Tro-
ckengebebe; Wasserverte in g/kg Körpergewicht.

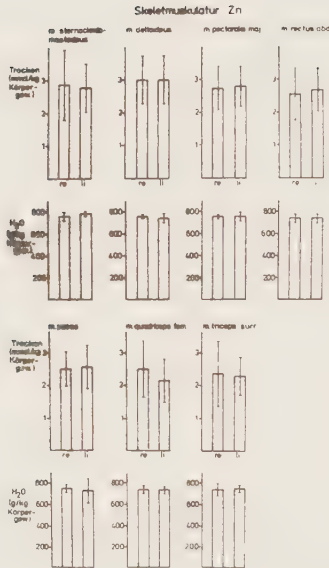


Abb. 7 : Ionogramme der Skelettmuskulatur Zink. Zinkkonzentrationen in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

Die Mittelwerte der rechten mm.quadriceps fem. und der rechten mm.triceps sur. erweisen sich bei unseren Proben höher, als die der jeweiligen linken Extremität. Hierbei traten beim rechten m.quadriceps fem. mit $2,5 \pm 1,1$ mmol/kg Trockengewebe die zweitgrößten Schwankungen der Einzelwerte auf.

Die Korrelationstabelle (Tab. 11) läßt erkennen, daß zwischen den meisten Lokalisationen ein gesicherte Korrelation besteht. Der m.quadriceps fem. korreliert hiebei mit zwölf weiteren Muskeln.

2) Glatte Muskulatur

Oeso- phagus	Magen	Duo- denum	Jeju- num	Ileum	Quer- colon	
1,2 s=0,3	1,1 s=0,2	1,0 s=0,3	1,1 s=0,3	0,8 s=0,3	0,9 s=0,4	Tro- cken
811,7 s=40,7	806,9 s=71,4	833,7 s=33,7	826,6 s=35,8	802,6 s=40,8	811,5 s=60,8	H ₂ O

Tab. 12 : Zinkkonzentrationen in der glatten Muskulatur in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

Die Ionogramme der Zinkverteilung in der glatten Muskulatur zeigen ein stufenförmiges Absinken der Mittelwerte vom Oesophagus zum Duodenum (Abb. 8). Der Mittelwert des Jejunums mit $1,1 \pm 0,3$ mmol/kg Trockengewebe ist wieder größer.

Den niedrigsten Mittelwert mit $0,8 \pm 0,3$ mmol/kg

Trockengewebe konnten wir in der Muskulatur des Ileums feststellen (Tab. 12). Die stärksten Schwankungen mit $0,9 \pm 0,4$ mmol/kg Trockengewebe traten bei den Werten des Quercolons auf.

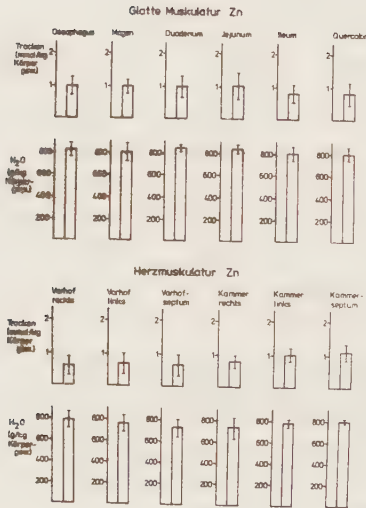


Abb. 8 : Ionogramme der glatten Muskulatur und der Herzmuskulatur für Zink. Zinkkonzentrationen in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

3) Herzmuskulatur

a) Vorhof

Die Werte der beiden Vorhöfe zeigen leichte Unterschiede in den einzelnen Lokalisationen (Tab. 13). Den niedrigsten Mittelwert mit $0,7 \pm 0,4$ mmol/kg Trockengewebe fanden wir beim rechten Vorhof, der gleichzeitig die größte Standardabweichung aufwies.

Vorhof re	Vorhof li	Vorhof sept.	Kammer re	Kammer li	Kammer sept.	
0,7 s=0,4	0,8 s=0,3	0,8 s=0,3	0,9 s=0,2	1,1 s=0,4	1,2 s=0,2	Tro- cken
793,0 s=75,0	757,6 s=70,9	724,2 s=84,5	739,6 s=108,0	790,5 s=25,1	801,1 s=11,7	H ₂ O

Tab. 13 : Zinkkonzentrationen in der Herzmuskulatur in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwert in g/kg Körpergewicht.

b) Kammer

Die Zinkverteilung der Mittelwerte aus den Kammern ergab einen Anstieg von der rechten Kammer hin zum Kammerseptum (Abb. 8). Die Standardabweichungen waren niedriger als jene aus den Vorhöfen und hatten ihren höchsten Wert mit $1,1 \pm 0,4$ mmol/kg Trockengewebe in den Proben der linken Kammer.

IV) Gesamtmittelwerte

	Mag- nesium	Cal- cium	Zink	H ₂ O
re Skelett	40,9 s=10,8	4,9 s=2,7	2,8 s=0,9	755,2 s=33,9
li	38,6 s=10,6	6,0 s=3,2	3,0 s=0,8	753,6 s=43,4
Darm	25,5 s= 6,9	12,7 s=5,3	1,0 s=0,3	815,5 s=47,2
Vorhof	20,3 s=8,0	10,9 s=4,3	0,8 s=0,3	758,3 s=76,9
Kammer li+sept.	33,7 s= 5,0	7,6 s=4,1	1,3 s=0,3	795,8 s=18,4
Kammer re	27,2 s=9,1	8,1 s=5,2	0,9 s=0,2	739,6 s=108,0

Tab. 14 : Gesamtmittelwerte (Zusammenfassung der einzelnen Lokalisationen) der Magnesium-, Calcium- und Zinkkonzentrationen in mmol/kg Trockengewebe; Wasserwerte in g/kg Körpergewicht.

D) Diskussion

I) Allgemeines über die Struktur der verschiedenen Muskeltypen.

Skelettmuskulatur

Die quergestreifte Muskulatur besteht aus extrem langen, fadenförmigen, vielkernigen Muskelfasern. Jede Muskelfaser setzt sich aus zahlreichen elementaren Längsfibrillen zusammen, die in Sarkoplasma eingebettet sind. Die Cytoplasmaleiber der Muskelzellen sind von Basalmembranen und Bindegewebsfasern, die das Sarkolemm bilden, umhüllt. Die zahlreichen, durch Endomitosen entstandenen Kerne liegen in der Regel außen unter dem Sarkolemm (ROHEN und LÜTJENDRECOLL 1974).

Glatte Muskulatur

Die glatte Muskulatur unterscheidet sich durch den anatomischen Bau, die stark plastisch-viskösen Eigenschaften, den geringeren Gehalt an Aktomyosin und dessen geringere ATPase-Aktivität, das niedrigere und instabilere Membranpotential, die langsamere Leitungsgeschwindigkeit und die im allgemeinen langsamere Kontraktion von der Skelettmuskulatur. Die glatte Muskelzelle ist spindelförmig, mit mittelständigem, langelliptischen Kern. Im Inneren liegen gleichartige Längsfilamente, die nicht zu größeren Einheiten (Fibrillen) geordnet sind. Dazwi-

schen befindet sich Sarkoplasma und ein relativ schwach ausgebildetes tubulo-vesikuläres Retikulum. Glatte Muskelzellen gruppieren sich in der Regel zu Bündeln mit gleicher Verlaufsrichtung. Im gesamten Darmtrakt sind zwei Muskellagen vorhanden, die rechtwinklig zueinander angeordnet sind.(ROHEN und LÜTJEN-DRECOLL 1974).

Herzmuskulatur

Die Herzmuskulatur nimmt eine Mittelstellung zwischen quergestreifter und glatter Muskulatur ein. Sie besteht aus langen Muskelfasern, die sich verzweigen und mit Nachbarfasern ein dichtes Netz bilden. Dabei kann man zwei Arten von Fasern unterscheiden: die fibrillenarmen und sarkoplasmareichen Muskelzellen, welche die spezifische Funktion der Erregungsbildung und -leitung haben (Purkinje Fasern) und die zahlenmäßig überwiegenden, quergestreiften, fibrillenreichen und sarkoplasmaarmen Fasern, die sich zu verkürzen und Spannung zu entwickeln vermögen (Arbeitsmyokard). Die Zellkerne liegen in der Mitte der Fasereinheiten (ROHEN und LÜTJEN-DRECOLL 1974).

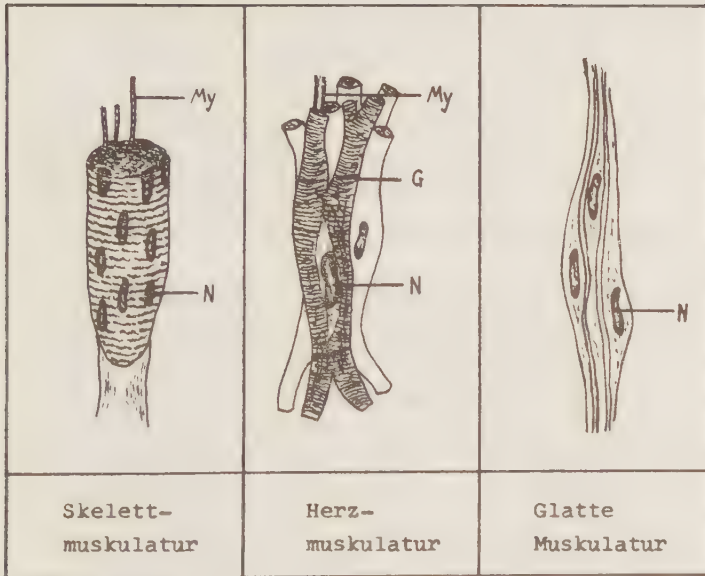


Abb. 9 : Darstellung der einzelnen Muskeltypen
(My = Myofibrillen; N = Zellkerne; G = Glanzstreifen).

II) Probleme der Probennahme post mortem

Die Probennahme fand bei allen Fällen zwischen 24 und 48 Stunden nach dem Tode statt. Infolge des Zusammenbruchs von Membranpotentialen und freier Diffusion der Elektrolyte finden Ionenverschiebungen statt, die in Abhängigkeit von Todeszeit und -art und Medikation unterschiedlich schnell fortschreiten (HOPPE-SEGLER / THIERFELDER 1955; JANSEN 1961; MUELLER 1957; RODECK 1957).

Eine post mortem gefundene Elektrolytkonzentration kann man nicht mit einer intravitalen gleichsetzen. Jedoch beschrieb JANSEN (1961) eine Konstanz der Bedingungen des Mineralgehaltes in einem Zeitraum von 12 bis 48 Stunden nach dem Tode. CHIPPERFIELD (1976) fand nur für die Kaliumkonzentration in männlichen Leichenherzen einen signifikanten Unterschied zwischen normal aufbewahrten und schnell tiefgefrorenen Fällen. Für die Magnesium- und Calciumkonzentrationen waren die Unterschiede nur sehr gering (CHIPPERFIELD et al. 1976).

Der Elektrolytgehalt unserer Proben ist demnach in den einzelnen Fällen miteinander vergleichbar, er ist jedoch nicht unmittelbar mit intravitalen Konzentrationen gleichzusetzen.

III) Magnesium

Man rechnet Magnesium zu den 'essentiellen Mineralien', die für alle Lebewesen lebensnotwendig sind und exogen zugeführt werden müssen. Der Gesamtgehalt des menschlichen Körpers beträgt zwischen 0,036 und 0,049 % der fettfreien Körpermasse (WIDDOWSON und McCANCE 1951; FORBES et al. 1956).

Magnesium wird zu etwa einem Drittel im oberen Dünndarmdrittel absorbiert. Die Aufnahme wird beeinflusst durch den Proteingehalt (MENAKER 1954; SCHNEIDER 1967), den Säuregehalt (WATSON 1971) der Nahrung, Alkohol (PAUNIER 1971), Vitamin-D-Stoß (HANNA 1961; RICHARDSON und WELT 1965), das Wachstums- sowie das Parathyroideahormon (WATSON 1971). Im Körper ist es nach Kalium, das am stärksten in den Zellen konzentrierte Metall, wobei der intrazelluläre Gehalt an Magnesium etwa 5 - 10 mal höher ist, als der des Plasmas (STOBER 1973).

Der Magnesiumanteil steigt sowohl in der Skelettmuskulatur, als auch im Herzen von ungefähr 5 mmol/kg fettfreiem Gewebe im Neugeborenenalter auf etwa 8,5 mmol/kg fettfreiem Gewebe im Erwachsenenalter an und verdoppelt sich somit annähernd (HOLTMEIER 1970).

1) Skelettmuskulatur

Die Mittelwerte der Skelettmuskelproben aus den verschiedenen Lokalisationen zeigen im Rechts-Links-Vergleich geringe Schwankungen.

Dies wird verdeutlicht durch die Betrachtung unserer Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt des Gesamtmittelwertes (Abb. 10). Für unsere Proben aus der Skelettmuskulatur zeigt sich mit $40,9 \pm 10,8$ mmol/kg Trockengewebe eine leicht höhere Magnesiumkonzentration auf der rechten Seite gegenüber $38,6 \pm 10,6$ mmol/kg Trockengewebe auf der linken Seite (Tab. 14).

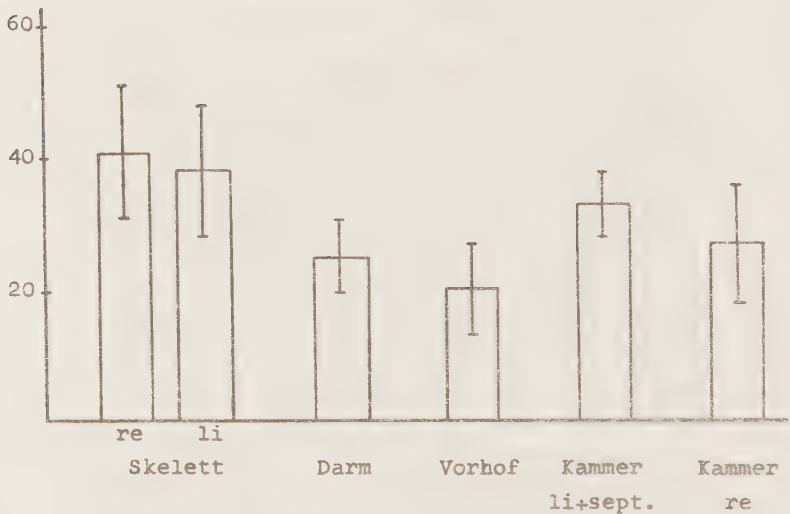


Abb. 10 : Ionogramme des Gesamtmittelwertes für Magnesium in mmol/kg Trockengewebe.

Anders ist es bei den einzelnen Muskelgruppen. Hier zeigen sich Unterschiede im Magnesiumgehalt unserer Proben (Tab. 2). Die mm.recti

abdom., wie die mm.psoas und mm.triceps sur. weisen in den Proben einen deutlich niedrigeren Magnesiumgehalt auf, als die mm.sternocleidomastoidei, mm.pectorales maj. und die mm.deltoidi; dies gilt auch für den Mittelwert der linken mm.quadriceps fem. und mm.triceps sur.. Man kann auf der linken Seite von einem Gefälle von oben nach unten sprechen.

Betrachtet man die Korrelation (Tab. 3), so besteht in fünf Fällen eine gesicherte Korrelation anderer Skelettmuskeln mit dem m.quadriceps fem.. Fünf weitere untersuchte Skelettmuskel korrelieren nicht mit diesem, oft bei Biopsien verwendeten Muskel. Nach unseren Ergebnissen läßt sich der Magnesiumgehalt des m.quadriceps fem. nicht ohne weiteres mit den Magnesiumkonzentrationen der übrigen Skelettmuskel gleichsetzen. Man kann ihn deshalb auch nicht als Muskel schlechthin bezeichnen, wie es bei " Hypomagnesaemia and Muscle Electrolytes and Metabolites " (STENDIG-LINDBERG et al. 1977) geschehen ist.

Sechs unserer Fälle litten an einer Lebercirrhose alkoholischer Genese. Die von uns hierbei gemessenen Skelettmuskelkonzentrationen waren geringfügig erniedrigt. Eine Korrelation zwischen postmortalem Gewebsspiegel und klinischen Serumspiegel war nicht möglich, da sub finem vitae keine Blutentnahmen durchgeführt wurden. Nach FLINCK ist bei chronischem Alkoholismus das Serummagnesium erniedrigt (FLINCK et al. 1954). Über den Magnesiumgehalt der Muskulatur bei Hypomagnesämie bestehen geteilte Meinungen. Einige Autoren berichten über einen erniedrigten Magnesiumgehalt der Muskulatur, an-

dere vertreten die Ansicht er sei im Normbereich (ALFREY et al. 1974; CADELL und GODDARD 1967; DUNN und WALSER 1966; LIM et al. 1969; LIM und JAKOB 1972; MacINTYRE et al. 1961; MULDOWNNEY et al. 1970).

Unsere Magnesiumkonzentrationen bei Lebercirrhose waren im Normbereich.

Der von uns gemessene, geringe Abfall des Skelettmuskelmagnesiums bei Lebercirrhose kann dadurch erklärt werden, daß nur ein geringer Teil des Magnesiums im Muskelgewebe frei verfügbar, der Rest aber in gebundener Form, an ATP und verschiedene Verbindungen, vorliegt (NANNINGA 1961).

2) Glatte Muskulatur

Der Magnesiumgehalt der Proben aus den von uns gewählten Teilen des Magen-Darm-Traktes wies geringe Unterschiede auf. Die höchsten Konzentrationen fanden wir im oberen Anteil und im Quercolon. Den im Mittel niedrigsten Gehalt mit $23,2 \pm 7,6$ mmol/kg Trockengewebe stellten wir im Ileum fest.

Betrachtet man den Gesamtmittelwert unserer Proben (Tab. 14), so zeigt sich mit $25,5 \pm 6,9$ mmol/kg Trockengewebe ein erheblich niedrigerer Wert, als in der Skelettmuskulatur mit rechts $40,9 \pm 10,8$ mmol/kg Trockengewebe und links $38,6 \pm 10,6$ mmol/kg Trockengewebe.

Die Fälle mit Lebercirrhose hatten im Mittel mit $30,8$ mmol/kg Trockengewebe einen im Vergleich mit dem Gesamtmittelwert von $25,5 \pm 6,9$

mmol/kg Trockengewebe höheren Magnesiumgehalt. Dieser trat hauptsächlich im oberen Bereich des Magen-Darm-Traktes auf. Eine Erklärung hierfür könnte in der alkoholischen Genese der Lebercirrhosen und der damit verbundenen Fehlernährung und dem Eiweißmangel zu suchen sein.

3) Herzmuskulatur

Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der Herzmuskulatur verglichen wir Vorhof und Kammer getrennt. Die Unterschiede in den Vorhöfen sind, mit dem höchsten Mittelwert von $21,3 \pm 7,4$ mmol/kg Trockengewebe im rechten Vorhof und $19,0 \pm 7,9$ mmol/kg Trockengewebe als niedrigsten Mittelwert beim Vorhofseptum, als gering zu betrachten. Hier macht sich der im Vergleich zur Kammer größere Anteil an Extrazellulärraum und geringere Anteil an Muskelfasern bemerkbar. Nach WACKER befindet sich nur 1 % des gesamten Körpermagnesiums in der Extrazellulärflüssigkeit (WACKER und PARIST 1968).

Der rechte und der linke Ventrikel unterscheiden sich ebenfalls, bei gleicher Anzahl an Muskelfasern und Kapillaren, durch einen größeren Anteil an Extrazellulärraum im rechten Ventrikel. Hier ist die Muskelmasse geringer und der Faserdurchmesser kleiner (DOERR 1970).

JANSEN konnte nachweisen, daß Sauerstoffmangel eher die linke Herzkammer schädigt. Stoffwechsel- und Mineralhaushaltsstörungen, endogene Intoxikationen, ausgedehnt metastasierende Tu-

moren oder Bakterientoxine wirken sich vorwiegend im rechten Ventrikel aus (JANSEN 1962; DOERR 1970).

Auch wir konnten, wie vor uns mehrfach beschrieben (JANSEN 1962; KOLB 1964; KÁDAS et al 1964; MEISTER 1962, 1966) einen Seitenunterschied für Magnesium zwischen rechten und linken Ventrikel feststellen (Tab. 14). Die linken Kammern hatten einen höheren Magnesiumgehalt. Unter unseren 20 Fällen befanden sich sechs Fälle mit Rechtsherzversagen und zwei Fälle mit Linksherzversagen. Hierbei waren die Seitenunterschiede zwischen rechter und linker Kammer nochmals verstärkt.

III) Calcium

Calcium wird ähnlich dem Magnesium vorwiegend im Duodenum und dem obersten Teil des Jejunums resorbiert (BORLE 1974).

Der Calciumgehalt der Extrazellulärflüssigkeit wird sehr genau reguliert. 40 % des Calciums sind an Eiweiß und 5 % an organische Säuren gebunden, während 55 % als freie Calciumionen zirkulieren (MOORE 1970).

Das Ca^{2+} ist unentbehrlich für die Einleitung der Myofibrillenkontraktion (SANDOW 1965; EBASHI und ENDO 1968; WEBER und MURRAY 1973). Hierbei ist es im Wesentlichen an zwei Vorgängen beteiligt. Es vermindert die Membranpermeabilität und führt damit zur Abnahme der Erregbarkeit. Weiter ist es für die Kopplung des Erregungs- mit dem Kontraktionsvorgang in der Muskelzelle von Bedeutung, wobei es möglicherweise die Energie des ATP auf das Kontraktionselement Aktomyosin überträgt (HAAS 1965).

1) Skelettmuskulatur

Die Calciumkonzentrationen unserer Proben wiesen Schwankungen in den einzelnen Muskelgruppen auf. Wir fanden den höchsten Wert mit $7,7 \pm 4,0$ mmol/kg Trockengewebe in den linken mm.recti abdom. und den niedrigsten Mittelwert mit $3,9 \pm 1,2$ mmol/kg Trockengewebe im selben Muskel auf der rechten Seite. Die Standardabweichungen zeigen die unterschiedlichen individuellen Konzentrationen (Tab. 7).

Bei Betrachtung des Gesamtmittelwertes weist die Skelettmuskulatur den niedrigsten Calciumgehalt der untersuchten Muskulatur auf (Abb. 11). Die Rechts-Links-Unterschiede waren nur sehr gering.

Die Skelettmuskelkonzentrationen bei jenen Fällen mit Lebercirrhose waren für Calcium unauffällig. Eine Erklärung hierfür bietet der große Anteil an frei zirkulierenden Ionen dieses Elektrolytes (MOORE 1970).

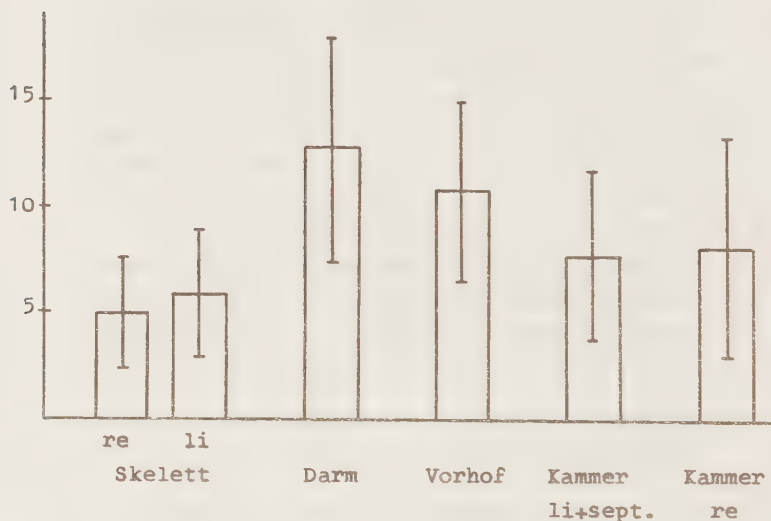


Abb. 11 : Ionogramme des Gesamtmittelwertes für Calcium in mmol/kg Trockengewebe.

Betrachtet man die Korrelationstabelle (Tab. 6), findet man in acht Fällen eine gesicherte Korrelation des häufig als Biopsiemuskel verwendeten m.quadriceps fem. mit anderen Skelettmuskeln. Bei unseren Proben ist sein Calciumgehalt demnach mit 57 % der von uns untersuchten Skelettmuskeln vergleichbar.

2) Glatte Muskulatur

Die glatte Muskulatur des Magen-Darm-Traktes weist im Mittel die höchsten Calciumkonzentrationen der von uns gemessenen Muskelgruppen auf (Tab. 14).

Innerhalb des Darmtraktes fanden wir wiederum in der Muskulatur des Duodenums mit $15,1 \pm 5,8$ mmol/kg Trockengewebe den größten Calciumgehalt. Dieser Wert hängt wahrscheinlich mit der Resorption des größten Calciumanteils in diesem Darmabschnitt zusammen (BORLE 1974).

Im distalen Teil des Ileums und im Quercolon ermittelten wir die stärksten Standardabweichungen.

3) Herzmuskulatur

Calcium spielt in der Herzmuskulatur ebenfalls eine bedeutende Rolle. Das Calcium, welches im sarkoplasmatischen Retikulum gespeichert ist, reicht nicht für alle Aktomyosinkontraktionen aus. Die Herzkontraktilität wird deshalb durch verstärktes Füllen der Speicher des sarkoplasmatischen Retikulums mit extrazellulärem Cal-

cium, während der Plateauphase eines Aktionspotentials, erhöht (LANGER 1973; MORRAD und GOLDMANN 1973; TRAUTWEIN 1973; REUTER 1973, 1974).

Unsere Calciumwerte zeigen im Mittel in den Vorhöfen höhere Konzentrationen als in den Kammern (Tab. 14). Ebenfalls fielen etwas höhere Werte im rechtskammerigen Myocard und in den Kammersepten auf (Tab. 9). JANSEN erklärt dieses Phänomen mit der unterschiedlichen Breite und Dichte der Muskelfasern, wodurch sich ein größerer bzw. kleinerer Anteil an Extrazellulärraum ergibt (JANSEN 1962).

Unsere Fälle mit Rechtsherzversagen zeigten im Mittel keine verwertbaren Auffälligkeiten. Bei unseren Fällen mit Linksherzversagen waren die Calciumkonzentrationen im Mittel um 21 - 33 % in den Vorhöfen erniedrigt. Die Werte der rechten Kammern waren mit 13,0 mmol/kg Trockengewebe zu gesamt $8,1 \pm 5,2$ mmol/kg Trockengewebe erhöht. Auch MEISTER fand sich vergrößernde Seitendifferenzen der Mineralverteilung im Myocard unter pathologischen Bedingungen (MEISTER 1966).

Betrachtet man die Gesamtmittelwerte (Tab. 14), so enthalten die Vorhöfe etwa doppelt so viel, und die Kammeranteile um 50 % mehr Calcium, als die Skelettmuskulatur. Als Grund hierfür kann einerseits der Anteil an Extrazellulärraum in einigen Teilen des Herzens angeführt werden (JANSEN 1962). Zum anderen wurde eine ATP abhängige Calciumanhäufung bei cardialen Plasmamembranen beschrieben (HUI et al. 1976; SULAKPE et al. 1976).

V) Zink

Zink ist ein wichtiger Bestandteil körpereigener Verbindungen vieler Lebewesen. Bei Zinkmangel sind zinkabhängige Enzyme, wie Alkoholdehydrogenase der Leber, alkalische Phosphatase, Aldolase und Alkoholdehydrogenase der Niere und alkalische Phosphatase, Laktat- und Alkoholdehydrogenase des Pankreas, in vivo bei Schweinen stark erniedrigt. Ebenso ist das RNA/DNA Verhältnis in Leber, Niere, Pankreas und Knochen reduziert (PRASAD et al. 1971). Hypogonadismus und Wachstumsstörungen wurden bei Kindern und Jugendlichen mit Zinkmangel, in Ägypten beobachtet (SANDSTEAD et al. 1967).

Die Resorption des Elektrolyts geschieht mittels eines zinkbindenden Proteins als Komplex (STARCHER 1969). Spurenelement- und Komplexverbindungen sind in einem pH-Bereich von über pH 7 meist stabiler als unter pH 7 (RUNE 1973). Der Nahrungsbrei im Jejunum weist einen höheren pH auf, als im Duodenum. Es wird also dort der bedeutendste Teil des Zinks resorbiert (WALDRON -EDWARD 1971).

Im Plasma ist Zink zu 60 - 70 % an Albumin, außerdem noch an Zink- α_2 -Makroglobulin (PARISSI und VALLEE 1970). Transferrin transportiert das Zink im portalen Kreislauf zur Leber (EVANS 1976).

1) Skelettmuskulatur

Unsere Werte in der Skelettmuskulatur erweisen sich für Zink als recht homogen. Wir fanden nur einen sehr unbedeutenden Rechts-Links-Unterschied (Tab. 14). Die höchsten Werte von im Mittel $3,0 \pm 0,9$ mmol/kg Trockengewebe fanden wir in den beiden mm.deltoidei, die niedrigsten mit $2,1 \pm 0,8$ mmol/kg Trockengewebe in den linken mm.quadriceps fem. (Tab. 10). Die Konzentrationen der einzelnen Muskelgruppen korrelieren in 12 Lokalisationen mit dem m.quadriceps fem. (Tab. 11). Man kann hier in der Skelettmuskulatur von einer homogenen Zinkverteilung sprechen.

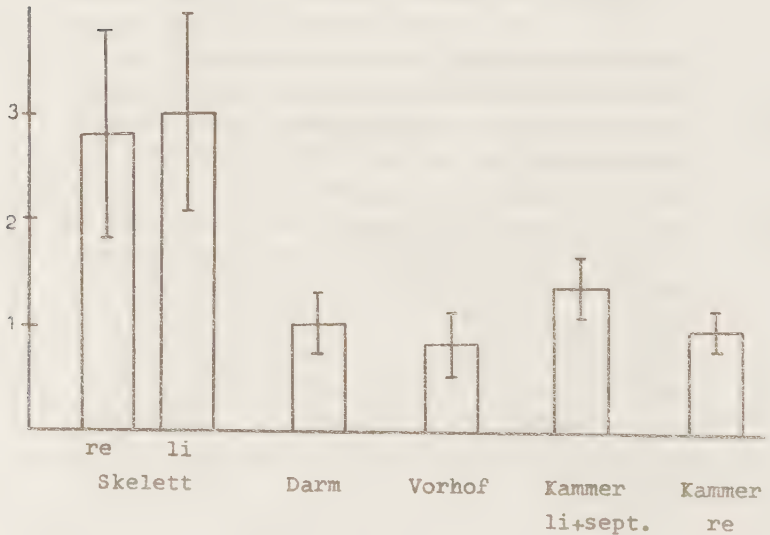


Abb. 12 : Ionogramme des Gesamtmittelwertes für Zink in mmol/kg Trockengewebe.

Bei unseren Fällen mit Lebercirrhose fanden wir in elf von vierzehn Lokalisationen geringfügig erniedrigte Werte.

Man sieht, bei Betrachtung der Gesamtmittelwerte, daß die Zinkkonzentrationen in der Skelettmuskulatur etwa dreimal so hoch sind, als in den von uns gemessenen Teilen der glatten Muskulatur und der Herzmuskulatur (Abb. 12).

2) Glatte Muskulatur

Die Mittelwerte der Proben aus der glatten Muskulatur zeigen ein relativ zusammenhängendes Bild (Tab. 12). Die Zinkkonzentrationen nahmen zum Quercolon hin, welches die größte Standardabweichung aufweist, ab. Im Vergleich zur Skelettmuskulatur ist der Zinkgehalt deutlich niedriger (Abb. 12).

Unsere Fälle mit Lebercirrhose wiesen eine Erhöhung der Zinkkonzentrationen in den Proben auf. Eine Erklärung hierfür ist im Eiweißmangel bei dieser Krankheit zu suchen. Zink ist im Serum zu 60 -70 % an Albumin gebunden (PARISI und VALLEE 1970) und wird durch Transferrin im portalen Kreislauf zur Leber transportiert (EVANS 1976). Zink könnte durch einen Mangel an Transportproteinen in der Darmwand etwas stärker kummulieren.

3) Herzmuskulatur

Die Zinkkonzentrationen waren im Mittel in den Vorhöfen kleiner als in den Kammern (Tab. 14).

Die rechten Herzanteile wiesen jeweils den niedrigsten Gehalt auf (Tab. 13).

Unsere Fälle mit Rechtsherzversagen zeigten in den Vorhöfen eine Erniedrigung, in den Kammern eine Erhöhung der Zinkkonzentrationen.

Bei unseren Fällen mit Linksherzversagen trat eine geringfügige Erhöhung des Zinkgehaltes auf.

E) Zusammenfassung

Es wurden 20 Fälle in jeweils 26 Lokalisationen nach den Elektrolytverteilungen von Magnesium, Calcium und Zink untersucht. 14 Entnahmestellen befanden sich in der Skelettmuskulatur, 6 in der glatten Muskulatur des Magen-Darm-Traktes und 6 in der Muskulatur des Herzens.

Zur Messung bedienten wir uns der Atom-Absorptions-Spektroskopie.

Wir verzichteten bei der glatten Muskulatur und der Herzmuskulatur auf eine Korrelationsberechnung, da eine entsprechende, sinnvolle Vergleichsmöglichkeit fehlt.

Magnesium zeigte im Rechts-Linksvergleich keine großen Unterschiede in der Skelettmuskulatur. Jedoch korrelierte der, oft für Biopsien benutzte, m.quadriceps fem. nur mit fünf von vierzehn Muskelentnahmestellen. Man kann deshalb nicht von einer homogenen Magnesiumverteilung innerhalb der Skelettmuskulatur sprechen.

Die Magnesiumkonzentrationen in den sechs Lokalisationen der glatten Muskulatur wiesen nur geringe Unterschiede auf. Die Werte waren hier um 35 % niedriger, als in der Skelettmuskulatur.

Bei der Herzmuskulatur fanden wir in den Vorhöfen niedrigere Konzentrationen, als in den Ventrikeln. Im Mittel waren die Werte in den Vorhöfen 50 % und in den Kammern um 25 - 30 % niedriger, als in der Skelettmuskulatur.

Calcium war stärkeren Konzentrationsschwankun-

gen in den einzelnen Skelettmuskelgruppen unterworfen. In acht Lokalisationen korrelierte der m.quadriceps fem. mit anderen Skelettmuskeln. Es bot sich, trotz des großen Anteils an ungebundenen Calciumionen, ein etwas homogeneres Bild als beim Magnesium.

In der glatten Muskulatur des Darmes fanden wir die höchsten Calciumkonzentrationen. Sie waren etwa doppelt so groß, als jene, in der Skelettmuskulatur.

Bei der Herzmuskulatur erwies sich der Calciumgehalt in den Vorhöfen höher, als in den Kammern. Die Werte der Ventrikel waren um 40 % höher, die der Vorhöfe etwa doppelt so hoch, als jene der Skelettmuskulatur.

Zink erwies sich als am gleichmäßigsten in der Skelettmuskulatur verteilt. Es trat nur ein geringfügiger Rechts-Links-Unterschied auf. Eine Korrelation des m.quadriceps fem. mit anderen Skelettmuskeln bestand bei zwölf Lokalisationen. Man kann deshalb von einer homogenen Verteilung innerhalb der Skelettmuskulatur sprechen.

Die Werte der glatten Muskulatur zeigten ebenfalls ein recht einheitliches Bild. Sie waren um 60 % niedriger, als die Skelettmuskelkonzentrationen.

In der Herzmuskulatur traten in den Vorhöfen niedrigere Werte als in den Kammern auf. Auch hier war der Zinkgehalt um 60 % niedriger, als in der Skelettmuskulatur.

Die von uns untersuchten drei Muskelarten können im Hinblick auf die Verteilung von Magnesium, Calcium und Zink nicht als direkt ver-

gleichbar bezeichnet werden. Die Unterschiede in Struktur und Aufgaben der einzelnen Muskelarten fanden sich in der Verteilung der untersuchten Elektrolyte wieder. Es verbietet sich demnach direkt aus der Elektrolytverteilung einer Muskelart auf die Verteilung in einem anderen Muskeltyp zu schließen, oder diese als Verteilung in der Muskulatur schlechthin zu bezeichnen.

Literatur

ALFREY, A.C., N.L. MILLER und D. BUTKUS : Clinical and experimental evaluation of body magnesium stores. J. Lab. Clin. Med. 84, 153 (1974).

ALKEMADE, C.T.J. und J.M.W. MILATZ : Double-beam method of spectral selection with flames. J. Opt. Soc. Am. 45, 583-584 (1955).

BORLE, A.B. : Calcium and phosphate metabolism. Ann. Physiol. 36, 361 (1974).

BRANDT, G. : Quantitative Mineralpathologie. S. 8-94 (1975).

CADELL, J.L. und D.R. GODDARD : Studies in protein-calorie malnutrition. I. Chemical evidence for magnesium deficiency. N. Engl. J. Med. 276, 533 (1967).

CHIPPERFIELD, B., J.R. CHIPPERFIELD, G. BEHR und P. BURTON : Magnesium in heart muscle. Lancet, 1 (1973) 1354-5 (1976).

DOERR, W. : Allgemeine Pathologie der Organe des Kreislaufs. In : Handbuch der Allgemeinen Pathologie. Bd. III, Vierter Teil. Hrsg. von H.-W. Altmann u.a.. Berlin-Heidelberg-New York. Springer (1970).

DUNN, M.J. und M. WALSER : Magnesium depletion in normal man. *Metabolism* 15, 884 (1966).

EBASHI, S. und M. ENDO : Calcium ion and muscular contraction. *Pro. Biophys. molec. Biol.* 18, 123-183 (1968).

EVANS, G.W. : Zinc Absorption and Transport. In : A.S. PRASAD : Trace elements in human health and disease. Vol. I, Academic Press, New York, San Francisco, London. 184 (1976).

FEDER, A. : Erfahrungen zur Anwendung der Absorptionsspektralphotometrie bei der Mineralstoffanalyse im biologischen Material. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 77, 642-646 (1970).

FLEAR, C.T.G. und J. FLORENCE : Unpublished data. Tab. 18, S. 60. In : E.M. WIDDOWSON und J.W.T. DICKERSON : Chemical composition of the body. In : C.L. COMAR und F. BRONNER : Mineral Metabolism. The elements. Part A. New York and London. Academic Press (1964).

FLINCK, E.B., F.L. STUTZMANN, A.R. ANDERSON, T. KONIG und R. FRASER : Magnesium deficiency after prolonged parenteral fluid administration and after chronic alcoholism complicated by delirium tremens. *J. Lab. Clin. Med.* 43, 169 (1954).

FORBES, MITCHEL, COOPER : Further studies on the gross composition and mineral elements of the human body. J. Biol. Chem. 223, 969 (1956).

GERLACH, W. : Über den Kupfergehalt menschlicher Organe in besonderen Fällen. Virchows Arch. Path. Anat. 295, 394-398 (;935).

GERLACH, W. : Alkohol, Kupfer, Lebercirrhose. Schweiz. med. Wschr. 65, 194-197 (1935).

GERLACH, W. und K. RUDHARDT : Der Elementgehalt im Gewebe. VIII. Mitteilung : Die quantitative Bestimmung von Kupfer im Gewebe mittels Spektralanalyse nebst Untersuchung eines Falles von fraglicher Kupfersulfatvergiftung. Beitr. Path. Anat. 92, 347-356 (1933).

HANNA, S. : Influence of large dosis of vitamin D on magnesium metabolism in rats. Metabolism 10, 735 (1961).

HAAS, H.G. : Tetanie bei Störungen des Calcium- und Magnesium-Stoffwechsels. Schweiz. med. Wschr. 95, 742 (1965).

HOLTMEIER, H.J. : Das Magnesiummangel Syndrom. Ärztl. Praxis 23, 1695-1702 (1971).

HOPPE-SEGLER / THIERFELDER : Handbuch der physiologisch- und pathologischchemischen Analyse. Bd III, Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1955).

HUI, C.W., M. DRUMMOND und G.J. DRUMMOND : Calcium accumulation and cyclic AMP-stimulated phosphorylation in plasma membrane-enriched preparations of myocardium. Arch. Biochem. Biophys. in press (1976).

JANSEN, H.H. : Der Kalium-, Natrium- und Wassergehalt der inneren Organe zu bestimmten Zeiten nach dem Tode. Virchows Arch. path. Anat. 334, 510 (1961).

JANSEN, H.H. : Myocardstudien. Pathklise der Herzkammern aufgrund seitendifferenzierter Struktureigenheiten. Arch. Kreislauff. 37, 1-87 (1962).

JANSEN, H.H. und L. STAPENBECK : Die regionale Verteilung von Kalium und Natrium im Herzmuskel. Klin. Wschr. 44, 470-472 (1962).

KÁDAS, J., M. NÉMETH-CSÓKA, E. PINTÉR, M. SIMON : Chemische Analyse und vergleichende histologische Untersuchung an Leichenherzen. I. und II. Mitt. Zbl. allg. Path. path. Anat. 106, 16-20, 21-25 (1964).

KOLB, E. : Körper- und Zellbestandteile. In :
H.M. RAUEN : Biochemisches Taschenbuch. Berlin-
Göttingen-Heidelberg-New York. Springer (1964).

KÜHN, H. und G. CONRADI : Zur topochemischen
Elektrolytverteilung im Myokard bei Pneumonien.
Zbl. allg. Path. Bd 114, 184-188 (1971).

LANGER, G.A. : Excitation-contraction coupling.
A. Rev. Physiol. 35, 55-86 (1973).

LIM, P., B. CHIR, S. DONG und D.T. KHOO : Intra-
cellular magnesium depletion in chronic renal
failure. N. Engl. J. Med. 280, 981 (1969).

LIM, P. und E. JAKOB : Magnesium deficiency
in patients on long-term diuretic therapy for
heart failure. Br. med. J. 3, 620 (1972).

LIM, P. und E. JAKOB : Magnesium status of al-
coholic patients. Metabolism 21, 1045 (1972).

LOSSNITZER, K. : Zur quantitativen Bestimmung
von Kalium, Magnesium und Calcium im Herzmus-
kelgewebe in Kalium-Magnesium-Aspartat. Hrg.
von K. Horatz und P. Rittmeyer. Berlin : Me-
dicus (1973).

MacINTYRE, J., S. HANNA, C.C. BOTH und A.E.
READ : Intracellular magnesium deficiency in
man. Clin. Sci. 20, 297 (1961).

MEISTER, H. und H.J. SCHUHMANN : Untersuchungen über den Calcium- und Magnesiumgehalt an Leichenherzen bei Herzinsuffizienz und Myocardinfarkt. Beitr. path. Anat. 126, 468-477 (1962).

MEISTER, H. : Über Mineralanalysen an Leichenherzen bei Urämie. Virchows Arch. path. Anat. 338, 16-20 (1964).

MEISTER, H. und W. FISCHER : Über Mineralanalysen am Herzmuskel bei postoperativen Todesfällen. Zbl. allg. Path. path. Anat. 109, 240-244 (1966).

MEISTER, H. : Beitrag zum Elektrolytstoffwechsel des Myokards auf Grund postmortaler Mineralanalysen. Ztschr. f. Kreislauff., Bd 56, Heft 5, 447-454 (1966).

MENAKER, W. : Influence of protein intake on magnesium requirement during protein synthesis. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 85, 109 und 149 (1954).

MOORE, E.W. : Ionized calcium in normal serum, ultrafiltrates, and whole blood determined by ion-exchange electrodes. J. clin. Invest. 49, 318 (1970).

MORAD, M. und Y. GOLDMANN : Excitation-contraction coupling in heart muscle : membrane control of development of tension. Progr. Biophys. molec. Biol. 27, 257-313 (1973).

MULDOWNEY, F.P., T.J. McKENNA, L.H. KYLE, R. FREANEY und M. SWAN : Parathormone-like effect of magnesium replenishment in streatorrhea. N. Engl. J. Med. 282, 61 (1970).

MÜLLER, E. : Diskussionsbemerkungen. Verh. Dtsch. Path. Ges. 44, 197 (1960).

NAÑNINGA, L.B. : Calculation of free magnesium, calcium and potassium in muscle. Biophys. Acta 54, 338 (1961).

PARISI, A.F. und B.L. VALLEE : Isolation of a zinc- α_2 -macroglobulin from human serum. Biochemistry 9, 2412-2426 (1970).

PAUNIER, L. : Renal excretion of magnesium. XIII. Int. Congr. f. Päd. Wien, Vol VII, S 339 (1971).

RATZENHOFER, M. : Über Molekularpathologie. Eröffnungsrede des Vorsitzenden, Verh. Dtsch. Ges. Path. 58, XXIV / XXXVII (1974).

REUTER, H. : Exchange of calcium ions in the mammalian myocardium : mechanism and physiological significance. Circulation Res. 34, 599-605 (1974).

REUTER, H. : Divalent cations as charge carriers in excitable membranes. Progr. Biophys. molec. Biol. 26, 1-43 (1973).

RICHARDSON, J.A. und L.G. WELT : The hypomagnesaemia of vitamin D administration. Proc. Soc. exp. Biol. 118, 512 (1965).

RODECK, H. : Über postmortale Kaliumverschiebungen im Organismus. Ztschr. exp. Med. 129, 193 (1957).

RUNE, S.J. : pH in human duodenum. Digestion 8, 261 (1973).

SANDOW, A. : Excitation-contraction coupling in skeletal muscle. Pharmac. Rev. 17, 265-320 (1965).

SANDSTEAD, H.H., A.S. PRASAD, A.R. SCHULERT, Z. FARID, A.Jr. MIALE, S. BASSILLY und W.J. DARBY : Human zinc deficiency, endocrine manifestations and response to treatment. Amer. J. Clin. Nutr. 20, 422-442 (1967).

SCHNEIDER, H.H. : gewinnt magnesium eine zunehmende Bedeutung in der Medizin ? Dtsch. Apoth. Zs. 106, 1892 (1967).

STOFER, B. : Die Bedeutung des Magnesiumstoffwechsels für die Pädiatrie. Fortschr. Med. 91, 51-54 (1973).

STARCHER, B.C. : Studies on the mechanism of copper absorption in the chick. J. Nutr. 97, 321-326 (1969).

STENDIG-LINDBERG, G., J. BERGSTRÖM, und E. HULTMAN : Hypomagnesaemia and Muscle Electrolytes and Metabolites. Acta. Med. Scand. 201, 273-280 (1977).

SULAKHE, P.V., N.L. LEUNG und P.J. St.LOUIS : Stimulation of calcium accumulation in cardiac sarcolemma by protein kinase. Can. J. Biochem. in press (1976).

TRAUTWEIN, W. : Membrane currents in cardiac muscle fibers. Physiol. Rev. 53, 793-835 (1973).

WACKER, W.E.C. und A.F. PARISI : Magnesium metabolism. New Engl. J. Med. 278, 712 (1968).

WALDRON-EDWARD, D. : Effects of pH and counter-ion on absorption of metal ions. In : S.C. SKORYNA und D. WALDRON-EDWARD (Eds.) : Intestinal absorption of metal ions, trace elements and radionuclides. Pergamon Press, Oxford (1971).

WALSH, A. : The application of atomic-absorption spectra to chemical analysis. Spectrochim. Acta 7, 108-117 (1955).

WATSON, L. : Some aspects of magnesium metabolism. XIII. Int. Kongr. f. Päd. Wien, Vol VII, S. 339 (1971).

WEBER, A. und J.M. MURRAY : Molecular mechanisms in muscle contraction. *Physiol. Rev.* 53, 612-672 (1973).

WIDDOWSON, E.M., R.A. McCANCE und C.M. SPRAY : The chemical composition of the human body. *Clin. Sc.* 10, 113-125 (1951).

WIDDOWSON, E.M. und J.W.T. DICKERSON : Chemical composition of the body. In : C.L. COMAR und F. BRONNER (Eds.) : Mineral Metabolism. Vol 2, Part A. New York, Academic p. 2 (1964).

Herrn Priv. Doz. Dr. G. Brandt möchte ich meinen besonderen Dank aussprechen für die Anregung zur Bearbeitung des Themas und für seine Unterstützung.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. L. Horbach, Direktor des Instituts für Medizinische Statistik und Dokumentation, sowie Herrn Dr. W. Günselmann für seine Unterstützung bei der Arbeit.

Nürnberg, den 3.12.80

Mein Lebenslauf

Am 12. Mai 1951 wurde ich, Horst Falko Demmler, als einziges Kind des Horst Demmler und seiner Ehefrau Erika, geb. Opitz, in Chemnitz geboren. Meine Schulbildung erhielt ich an der Volksschule und am Theodor-Hauss-Gymnasium in Nördlingen, wo ich 1972 die Reifeprüfung ablegte.

Anschließend leistete ich meinen Zivildienst bei der Lebenshilfe Fürth e.V. ab.

Im Sommersemester 1974 begann ich mein Studium an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen mit dem Fach Geschichte und wechselte im darauffolgenden Semester in das Fach Physik. Im Sommersemester 1975 erhielt ich einen Studienplatz für das Fach Medizin. Ich legte im August 1976 die Ärztliche Vorprüfung, im August 1977 den ersten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung und im August 1979 den zweiten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung ab. Danach leistete ich mein Praktisches Jahr ab.

Am 26. November 1980 bestand ich die Ärztliche Prüfung.

F. Demmler

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197